



TITLE:

Assessment and Control of Virological Risk in Reclaimed Water Treated by Soil Aquifer Treatment( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Thuangsit, Denpetkul

---

CITATION:

Thuangsit, Denpetkul. Assessment and Control of Virological Risk in Reclaimed Water Treated by Soil Aquifer Treatment. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-09-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19983>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2018-07-20に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	Thuangsit DENPETKUL
論文題目	Assessment and Control of Virological Risk in Reclaimed Water Treated by Soil Aquifer Treatment（土壤浸透処理を介した再生水飲用に伴う病原ウイルスの感染リスク評価）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>気候変動などにより深刻化が予想される水資源の量・質的不安定化への適応策の一つとして、下水処理水を水資源の一つと捉え、上下水処理と土壤浸透処理 (Soil Aquifer Treatment: SAT) を組み込んだ水循環システムの構築が考えられる。本論文はこのシステムの実装化に向けてウイルスリスク管理に着目し、SAT 自体が持つウイルスの除去・不活化能評価、数値解析モデルによる実装化を想定したウイルス感染リスク評価を目的として行った結果をまとめたものであって、7 章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論であり、研究背景として将来到来する気候変動にともなう水量・水質変動の激化に対し適応するため水再生利用の必要性について述べ、エネルギー消費量や過剰処理などの観点から SAT を組み込んだ水循環システムによる水再生利用の有用性について整理している。そして再生水の間接的飲用に伴う健康リスクとして病原ウイルスによる感染リスクに着目し、SAT によるウイルスの除去・不活化効果を把握するとともに、数値解析モデルを用いて SAT の実装化を想定した場合のウイルス感染リスクを評価することを本研究の目的として明示している。</p> <p>第 2 章は文献考察であり、SAT による細菌、原虫、ウイルスの除去性に関する既存の研究を整理し、比較的短い滞留時間 (1 ヶ月程度) を想定した SAT における病原ウイルス制御の重要性について示すとともに、SAT によるウイルスの除去・不活化機構について示している。次いで、SAT の実装化を想定した場合のウイルス感染リスク評価を行う上で、数値解析モデルに基づいた SAT によるウイルス除去・不活化能評価の必要性について示し、モデル構築に向けて推定が必要なパラメーターについて整理している。また、下水処理水での存在量や子供への感染事例の多さなどからアデノウイルス、ロタウイルスを対象病原ウイルスとして選定した上で、定量的微生物リスク評価 (QMRA) を行う上で必要な実験的検討について示している。</p> <p>第 3 章では、ウイルスの土壤への吸着と不活化効果について、回分式実験により推定を行っている。その際、温度、土壤試料、ウイルスの種類 (アデノウイルス、ロタウイルス) の違いの影響についても同時に評価している。その結果、ウイルスの種類の違いが吸着や不活化効果に最も影響していることを示した。そして吸着効果ではアデノウイルスの方がより高く、一方不活化効果ではロタウイルスの方がより高いという結果が得られ、ウイルスの種類によって土壤への吸着、不活化効果が異なることを明らかにした。この結果より、対象病原ウイルスごとに SAT による除去・不活化効果を把握する必要性を示している。</p> <p>第 4 章では、下水処理場に設置したパイロットスケールの SAT リアクターを用いて、比較的短い滞留時間 (約 28 日間) を想定した SAT のウイルス除去・不活化能を評価している。ここでは、定量 PCR 法によるウイルス全粒子濃度の把握により除去能のみを評価し、ICC-PCR 法による感染性ウイルス粒子濃度の把握により除去・不活化能を統合して評価している。その結果、SAT によるウイルス除去能はアデノウイルスで平均 0.72 log<sub>10</sub>、ロタウイルスで平均 0.15 log<sub>10</sub> となり、第 3 章の回分式試験の結果と同様でアデノウイルスの方が SAT による除去性が高いことを示した。また、除去・不活化能の総合評価ではアデノウイルスで 1.28-2.03log<sub>10</sub>、ロタウイルスで 0.43-0.96log<sub>10</sub> となり、SAT 中の</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	Thuangsit DENPETKUL
<p>除去・不活化効果は特にロタウイルスに対して限定的であることを指摘した。</p> <p>第5章では、SATの実装化へ向けた数値解析モデルの構築を行っている。まず、第4章で得られた全ウイルス粒子濃度を用いてパイロットスケールのSATリアクター内のウイルス粒子の挙動を一次元移流分散方程式に基づいて表現し、数値解析モデルに必要なパラメーターを推定した。続いて、推定パラメーターと第3章で得られた不活化速度係数を用いて、桂川流域にSATシステム実装化を想定した場合の二次元移流分散方程式に基づく数値解析モデルを構築した。最後に涵養点と揚水点の距離、涵養量について全9シナリオを設定し、各シナリオのSATの水理的滞留時間(HRT)とウイルス除去・不活化能を定量データの平均値を用いて推定し、構築したモデルの有用性を示した。</p> <p>第6章では、第5章に続き、SAT流出水に対するウイルス感染リスクについて、定量的微生物リスク評価(QMRA)手法により評価している。第4章で蓄積した下水処理水中のウイルスの定量データと第5章で構築した数値解析モデルを用いて、SAT流出水の感染性アデノウイルス、ロタウイルス濃度分布を推定し、QMRAにより年間感染確率を推定した。その結果、SAT流出水に対するウイルス感染リスクは許容リスクレベル(<math>10^{-4}</math> 人<math>^{-1}</math> 年<math>^{-1}</math>)を上回ることが示され、SAT後段への浄水処理プロセス設置の必要性を指摘した。そして、各病原ウイルスに対してSAT後段の処理工程の要求処理能を算出した結果、SAT後段にはウイルスに対して高い不活化効果が望める紫外線処理と塩素処理の組み合わせが必要であることを指摘した。</p> <p>第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、上下水処理と土壌浸透処理(SAT)を組み込んだ水循環システムの構築へ向けて、再生水の間接的飲用におけるウイルスリスク管理に着目し、SATによるウイルス除去・不活化効果を定量化するとともに、SATシステムの実装化を想定した場合のウイルス感染リスクを評価することを目的として研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 回分式実験により、ウイルスの土壌への吸着と不活化に対する温度、土壌試料、ウイルスの種類(アデノウイルス、ロタウイルス)の違いの影響について評価した。その結果、特にウイルスの種類の違いにより吸着と不活化効果が異なることが示され、対象病原ウイルスごとに SAT による除去・不活化効果を把握する必要性を指摘した。
2. パイロットスケールの SAT リアクター試験により、比較的短い滞留時間(約 28 日間)を想定した SAT が担うことができる除去・不活化能を評価した。その結果、アデノウイルスで  $1.28\text{--}2.03\log_{10}$ 、ロタウイルスで  $0.43\text{--}0.96\log_{10}$  となり、特にロタウイルスに対する SAT 中の除去・不活化効果はアデノウイルスよりも小さく、限定的であることを指摘した。
3. 得られた定量データ情報から二次元移流分散方程式に基づく数値解析モデルを構築し、定量的微生物リスク評価(QMRA)手法により、桂川流域の SAT システム実装化を想定した場合の SAT 流出水に対するウイルス感染リスクならびに後段の浄水処理に対する要求処理能について評価した。その結果、SAT 流出水に対するウイルス感染リスクが高いことが示され、推定した要求処理能より後段の浄水処理プロセスとして高い不活化効果が得られる紫外線処理と塩素処理の組み合わせが必要であることを指摘した。

本論文は、SAT を含む水循環システムの実装化へ向けたウイルスリスク管理の高度化に大きく貢献するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 28 年 7 月 27 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。